

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

29.11.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年11月26日
Date of Application:

出願番号 特願2003-395905
Application Number:
[ST. 10/C] : [JP2003-395905]

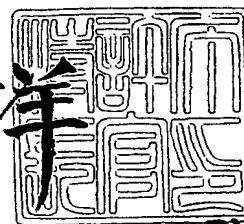
出願人 河村 能人
Applicant(s):

2005年 1月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願
【整理番号】 KP3463
【提出日】 平成15年11月26日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 C22C 23/04
C22C 23/06

【発明者】
【住所又は居所】 熊本県熊本市新南部2丁目7番A-302
【氏名】 河村 能人

【特許出願人】
【識別番号】 502396281
【氏名又は名称】 河村 能人

【代理人】
【識別番号】 100110858
【弁理士】
【氏名又は名称】 柳瀬 瞳肇

【選任した代理人】
【識別番号】 100100413
【弁理士】
【氏名又は名称】 渡部 温

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 085672
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲**【請求項1】**

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成る高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項2】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成る高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項3】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、残部がMgから成り、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項4】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、残部がMgから成り、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項5】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項6】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項7】

請求項5又は6のいずれか一項において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率が10%以上である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項8】

請求項5～7のいずれか一項において、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項9】

請求項5～8のいずれか一項において、前記強加工物のビッカース硬度が60Hv以上160Hv以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項10】

請求項5～9のいずれか一項において、前記強加工物の降伏強度が250MPa以上である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項11】

請求項5～10のいずれか一項において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項12】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項13】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項14】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項15】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項16】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項17】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項18】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項19】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項20】

請求項12～19のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物のビッカース硬度が60Hv以上160Hv以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項21】

請求項12～19のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物は、降伏強度が250MPa以上である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項22】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項23】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項24】

請求項22又は23において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率が10%以上である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項25】

請求項22～24のいずれか一項において、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項26】

請求項22～25のいずれか一項において、前記強加工物のビッカース硬度が60Hv以上160Hv以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項27】

請求項22～26のいずれか一項において、前記強加工物の降伏強度が250MPa以上である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項28】

請求項22～27のいずれか一項において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び

引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項29】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項30】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項31】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項32】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項33】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項34】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物

にECAEを行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項35】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項36】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項37】

請求項29～36のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物のビッカース硬度が60HV以上160HV以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項38】

請求項29～37のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物は、降伏強度が250MPa以上である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項39】

請求項5～38のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鋳造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項40】

請求項5～11のいずれか一項において、前記強加工を行う前の前記マグネシウム合金鋳造物を切削することによってチップ形状の鋳造物を形成する高強度高韌性マグネシウム合金。

【請求項41】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、

を具備する高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項42】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、

有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作る工程と、
前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、
を具備する高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項43】

請求項41又は42において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項44】

請求項41又は42において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行って強加工物を作る工程であり、押出し温度が150℃以上500℃以下、押出しによる断面減少率が50%以上である高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項45】

請求項41又は42において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行って強加工物を作る工程であり、圧延温度が150℃以上500℃以下、圧下率が25%以上である高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項46】

請求項41又は42において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行って強加工物を作る工程であり、前記ECAEを行う際の温度が150℃以上500℃以下、ECAEのパス回数が1パス以上である高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項47】

請求項41又は42において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行って引抜加工物を作る工程であり、前記引抜加工を行う際の温度が150℃以上500℃以下、前記引抜加工の断面減少率が25%以上である高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項48】

請求項41～47のいずれか一項において、前記強加工物を作る工程の後に、前記強加工物に熱処理を行う工程をさらに具備する高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項49】

請求項48において、前記強加工物に熱処理を行う際の熱処理温度は180℃以上400℃以下であり、熱処理時間は1分以上1500分以下である高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項50】

請求項41～49のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鋳造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項51】

請求項41～50のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鋳造物を作る工程と前記強加工物を作る工程との間に、前記マグネシウム合金鋳造物を切削することによってチップ形状の鋳造物を形成する工程をさらに具備する高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】高強度高韌性マグネシウム合金及びその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、高強度高韌性マグネシウム合金及びその製造方法に関し、より詳細には特定の希土類元素を特定割合で含有することにより高強度高韌性を達成した高強度高韌性マグネシウム合金及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

マグネシウム合金は、そのリサイクル性とあいまって、携帯電話やノート型パソコンの筐体あるいは自動車用部品として急速に普及し始めている。

これらの用途に使用するためにはマグネシウム合金に高強度と高韌性が要求される。高強度高韌性マグネシウム合金の製造のために従来から材料面及び製法面から種々検討されている。

製法面では、ナノ結晶化の促進のために、急冷凝固粉末冶金（R S-P/M）法が開発され、鋳造材の約2倍の400 MPa程度の強度のマグネシウム合金が得られるようになった。

【0003】

マグネシウム合金として、Mg-Al系、Mg-Al-Zn系、Mg-Th-Zn系、Mg-Th-Zn-Zr系、Mg-Zn-Zr系、Mg-Zn-Zr-RE（希土類元素）系等の成分系の合金が知られている。これらの組成を有するマグネシウム合金を鋳造法で製造しても十分な強度が得られない。前記組成を有するマグネシウム合金を前記R S-P/M法で製造すると鋳造法で製造する場合より高強度にはなるが依然として強度が不十分であったり、強度が十分でも韌性（延性）が不十分で、高強度及び高韌性を要求される用途には使用し難いという欠点があった。

これらの高強度及び高韌性を有するマグネシウム合金として、Mg-Zn-RE（希土類元素）系合金が提案されている（例えば特許文献1、2及び3）。

【0004】

【特許文献1】特許3238516号公報（図1）

【特許文献2】特許2807374号公報

【特許文献3】特開2002-256370号公報（特許請求の範囲、実施例）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来のMg-Zn-RE系合金では、例えばアモルファス状の合金材料を熱処理し、微細結晶化して高強度のマグネシウム合金を得ている。そして前記アモルファス状の合金材料を得るために相当量の亜鉛と希土類元素が必要であるという先入観があり、亜鉛と希土類元素を比較的多量に含有するマグネシウム合金が使用されている。

【0006】

特許文献1及び2では高強度及び高韌性が得られたと記載されているが、実際に強度及び韌性ともに実用に供するレベルに達している合金は殆ど無い。更に現在ではマグネシウム合金の用途が拡大して、従来の強度及び韌性では不十分で、より以上の強度及び韌性を有するマグネシウム合金が要請されている。

【0007】

本発明は上記のような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び韌性ともに実用に供するレベルにある高強度高韌性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.

1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成る。

【0009】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成る。

【0010】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高韌性マグネシウム合金は、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び韌性ともに実用に供するレベルにあるものである。

【0011】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、残部がMgから成り、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である。

尚、Mm(ミッショメタル)とは、Ce及びLaを主成分とする複数の希土類元素の混合物又は合金であり、鉱石から有用な希土類元素であるSmやNdなどを精錬除去した後の残渣であり、その組成は精錬前の鉱石の組成に依存する。

【0012】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、残部がMgから成り、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である。

【0013】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高韌性マグネシウム合金によれば、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量を1.0原子%超4.0原子%以下とすることにより、高強度高韌性を維持したまま、他の性質を改善することができる。

【0014】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0015】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0016】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高韌性マグネシウム合金は、マグネシウム合金の

拡大した用途に対して強度及び韌性ともに実用に供するレベルにあるものである。

【0017】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上が好ましく、より好ましくは15%以上である。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が0.1μm以上100μm以下であることが好ましい。

【0018】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記強加工物のビッカース硬度が60Hv以上160Hv以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記強加工物の降伏強度が250MPa以上であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

【0019】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上あり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0020】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0021】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0022】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上

) であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0. 1 μm 以上 100 μm 以下である

。

【0023】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0. 1原子%以上2. 5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1. 0原子%以上3. 5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0. 1 μm 以上 100 μm 以下である

。

【0024】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0. 1原子%以上2. 5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1. 0原子%以上3. 5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0. 1 μm 以上 100 μm 以下である

。

【0025】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0. 1原子%以上2. 5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1. 0原子%以上3. 5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1 μm 以上 100 μm 以下である。

【0026】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0. 1原子%以上2. 5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1. 0原子%以上3. 5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1 μm 以上 100 μm 以下である。

【0027】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物のビッカース硬度が60 Hv以上160 Hv以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物は、降伏強度が250 MPa以上であることが好ましい。

【0028】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0. 1原子%以上2. 5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1. 0原子%以上3. 5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作り、前

記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0029】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0030】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上が好ましく、より好ましくは15%以上である。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が0.1μm以上100μm以下であることが好ましい。

【0031】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記強加工物のビックカース硬度が60Hv以上160Hv以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記強加工物の降伏強度が250MPa以上であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

【0032】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0033】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0034】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0035】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0036】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0037】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0038】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0039】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウ

ム合金鋳造物を作り、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0040】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物のビッカース硬度が60H_v以上160H_v以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物は、降伏強度が250MPa以上であることが好ましい。

【0041】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記マグネシウム合金鋳造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下であることも可能である。

【0042】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金においては、前記強加工を行う前の前記マグネシウム合金鋳造物を切削することによってチップ形状の鋳造物を形成することも可能である。

【0043】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Nb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、
を具備する。

【0044】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Nb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鋳造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、
を具備する。

【0045】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法によれば、マグネシウム合金鋳造物に強加工を行うことにより、強加工後の強加工物の硬さ及び降伏強度を強加工前の鋳造物に比べて向上させることができる。

【0046】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

【0047】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物に押出しを行って強加工物を作る工程であり、押出し温度が150℃以上500℃以下、押出しによる断面減少率が50%以上であることも可能である。

【0048】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物に圧延を行って強加工物を作る工程であり、圧延温度が150℃以上500℃以下、圧下率が25%以上であることも可能である。

【0049】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物にECAEを行って強加工物を作る工程であり、前記ECAEを行う際の温度が150℃以上500℃以下、ECAEのパス回数が1パス以上であることも可能である。

【0050】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物に引抜加工を行って引抜加工物を作る工程であり、前記引抜加工を行う際の温度が150℃以上500℃以下、前記引抜加工の断面減少率が25%以上であることも可能である。

【0051】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法においては、前記強加工物を作る工程の後に、前記強加工物に熱処理を行う工程をさらに具備することも可能である。これにより、熱処理後の強加工物の硬さ及び降伏強度を熱処理前に比べてさらに向上させることができる。

【0052】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工物に熱処理を行う際の熱処理温度は180℃以上400℃以下であり、熱処理時間は1分以上1500分以下であることが好ましい。

【0053】

本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法において、前記マグネシウム合金鋳造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である。

【0054】

また、本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金の製造方法においては、前記マグネシウム合金鋳造物を作る工程と前記強加工物を作る工程との間に、前記マグネシウム合金鋳造物を切削することによってチップ形状の鋳造物を形成する工程をさらに具備することも可能である。

【発明の効果】

【0055】

以上説明したように本発明によれば、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び韌性ともに実用に供するレベルにある高強度高韌性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することができる。

【発明を実施するための形態】

【0056】

以下、本発明の実施の形態について説明する。

本発明者は、基本に立ち返り、2元マグネシウム合金から始めて合金の強度及び韌性を検討し、更にその検討を多元マグネシウム合金まで拡大した。その結果、強度及び韌性とも高いレベルで有するマグネシウム合金はMg-Zn-RE(希土類元素)系であり、希土類元素がY、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素であるマグネシウム合金であり、更に従来技術とは異なり亜鉛の含有量が2.5原子%以下で希土類元素の含有量が3.5原子%以下という低含有量において従来にない高強度及び高韌性が得られることを見出した。

【0057】

長周期積層構造が形成される鋳造合金は、強加工後あるいは強加工後に熱処理を施すことによって、高強度・高延性・高韌性のマグネシウム合金が得られることが分かった。また、長周期積層構造が形成されて、強加工後あるいは強加工熱処理後に高強度・高延性・高韌性が得られる合金組成を見出した。

【0058】

(実施の形態1)

本発明の実施の形態1によるマグネシウム合金は、基本的にMg、Zn及び希土類元素から成る3元又は4元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0059】

本実施の形態では亜鉛の含有量を0.1原子%以上2.5原子%以下とし、1又は2以上の希土類元素の含有量を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下とする。亜鉛の含有量が2.5原子%以上あると、特に韌性(又は延性)が低下する傾向があるからである。また1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で3.5原子%以上あると、特に韌性(又は延性)が低下する傾向があるからである。

【0060】

また亜鉛の含有量が0.1原子%未満、又は希土類元素の含有量が合計で1.0原子%未満であると強度及び韌性の少なくともいずれかが不十分になる。従って、亜鉛の含有量の下限を0.1原子%、より好ましくは0.5原子%とし、希土類元素の合計含有量の下限を1.0原子%とする。

【0061】

強度及び韌性の増大は亜鉛が0.5～1.5原子%において顕著になる。亜鉛含有量が0.5原子%付近において希土類元素含有量が少なくなると強度が低下する傾向があるが、その範囲の場合でも従来よりも高強度及び高韌性を示す。従って、本実施の形態のマグネシウム合金における亜鉛の含有量の範囲は最も広くて0.1原子%以上2.5原子%以下である。

【0062】

本実施の形態のMg-Zn-RE系マグネシウム合金では、前述した範囲の含有量を有する亜鉛と希土類元素以外の成分がマグネシウムとなるが、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

【0063】

(実施の形態2)

本発明の実施の形態2によるマグネシウム合金としては、Mg-Zn-RE系以外にMg-Zn-RE-Me系マグネシウム合金が挙げられる。但し、MeはLa、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素である。このMeの含有量は0原子%超2.5原子%以下とする。但し、希土類元素の総含有量は1.0原子%超4.0原子%以下とする。Meを添加すると、高強度高韌性を維持したまま、他の性質を改善することができる。尚、Mm(ミッショメタル)とは、Ce及びLaを主成分とする複数の希土類元素の混合物又は合金であり、鉱石から有用な希土類元素であるSmやNdなどを精錬除去した後の残渣であり、その組成は精錬前の鉱石の組成に依存するものである。

【0064】

(実施の形態3)

本発明の実施の形態3によるマグネシウム合金の製造方法について説明する。

実施の形態1又は2の組成からなるマグネシウム合金を溶解して鋳造し、マグネシウム合金鋳造物を作る。鋳造時の冷却速度は0.1～1000K/秒であり、より好ましくは1～100K/秒である。このマグネシウム合金鋳造物としては、インゴットから所定形状に切り出したものを用いても良いし、マグネシウム合金鋳造物を切削することによって作られた複数の約1mm角のチップ形状鋳造物を用いても良い。チップ形状の鋳造物は例

えばチクソーモールドの原料に一般的に用いられている。

【0065】

次に、前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行う。この強加工の方法としては、例えば押出し、ECAE(equal-channel-angular-extrusion)加工法、圧延及び引抜を用いる。

押出しによる強加工を行う場合は、押出し温度を150℃以上500℃以下とし、押出しによる断面減少率を50%以上とすることが好ましい。

【0066】

ECAE加工法は、試料に均一なひずみを導入するためにパス毎に試料長手方向を90°ずつ回転させる方法である。具体的には、断面形状がL字状の成形孔を形成した成形用ダイの前記成形孔に、成形用材料であるマグネシウム合金鋳造物を強制的に進入させて、特にL状成形孔の90°に曲げられた部分で前記マグネシウム合金鋳造物に応力を加えて強度及び韌性が優れた成形体を得る方法である。ECAEのパス回数としては1~8パスが好ましい。ECAEの加工時の温度は150℃以上500℃以下が好ましい。

【0067】

圧延による強加工を行う場合は、圧延温度を150℃以上500℃以下とし、圧下率を25%以上とすることが好ましい。

【0068】

引抜加工による強加工を行う場合は、引抜加工を行う際の温度が150℃以上500℃以下、前記引抜加工の断面減少率が25%以上であることが好ましい。

【0069】

上記のようにマグネシウム合金鋳造物に強加工を行った強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、この長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）となり、前記長周期積層構造の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。また、前記強加工物のビッカース硬度は60HV以上160HV以下であり、前記強加工物の降伏強度（引張試験による降伏応力）は250MPa以上である。

【0070】

前記マグネシウム合金鋳造物に強加工を行った後の強加工物に熱処理を行う。この熱処理条件は、温度が180℃以上400℃以下、熱処理時間が1分以上1500分（約24.5時間）以下である。この熱処理を行った後の強加工物については、熱処理を行う前の強加工物に比べてビッカース硬度及び降伏強度がともに上昇する。また、熱処理後の強加工物にも熱処理前と同様に、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、この長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）となり、前記長周期積層構造の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である。

【0071】

上記実施の形態1~3によれば、マグネシウム合金の拡大した用途、例えば強度及び韌性共に高性能が要求されるハイテク用合金としての用途に対して、強度及び韌性ともに実用に供するレベルにある高強度高韌性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することができる。

【実施例】

【0072】

以下、実施例について説明する。

実施例1では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Yの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0073】

実施例2では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Dyの3元系マグネシウム合金を用いる。

実施例3では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Hoの3元系マグネシウム合金を用いる。

実施例4では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Erの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0074】

実施例5では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1原子%Y-1.5原子%Dyの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例6では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1原子%Y-1.5原子%Gdの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例7では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1原子%Y-1.5原子%Erの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例5及び7それぞれのマグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素を複合的に添加したものである。また、実施例6マグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素と長周期積層構造を形成しない希土類元素とを複合的に添加したものである。

【0075】

実施例8では、97.5原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Y-0.5原子%Laの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例9では、97.5原子%Mg-0.5原子%Zn-1.5原子%Y-0.5原子%Ybの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例8及び9それぞれのマグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素と長周期積層構造を形成しない希土類元素とを複合的に添加したものである。

【0076】

実施例10では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1.5原子%Y-1原子%Dyの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例11では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1.5原子%Y-1原子%Gdの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例12では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1.5原子%Y-1原子%Erの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例13では、96原子%Mg-1原子%Zn-3原子%Yの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0077】

比較例1では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Laの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例2では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Ybの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0078】

比較例3では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Ceの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例4では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Prの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例5では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Ndの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例6では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Smの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例7では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Euの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例8では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Gdの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例9では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Tmの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例10では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Luの3元系マグネシウム

合金を用いる。

【0079】

参考例としては、98原子%Mg - 2原子%Yの2元系マグネシウム合金を用いる。

【0080】

(铸造材の組織観察)

まず、Arガス雰囲気中で高周波溶解によって実施例1～13、比較例1～10及び参考例それぞれの組成のインゴットを作製し、これらのインゴットからφ10×60mmの形状に切り出す。この切り出した铸造材の組織観察をSEM、XRDによって行った。これらの結晶組織の写真を図1～図7に示す。

【0081】

図1には、実施例1及び比較例1、2それぞれの結晶組織の写真が示されている。図2には、実施例2～4の結晶組織の写真が示されている。図3には、実施例5～7の結晶組織の写真が示されている。図4には、実施例8、9の結晶組織の写真が示されている。図5には、実施例10～12の結晶組織の写真が示されている。図6には、比較例3～10の結晶組織の写真が示されている。図7には、参考例の結晶組織の写真が示されている。

【0082】

図1～図5に示すように、実施例1～12のマグネシウム合金には長周期積層構造の結晶組織が形成されている。また、実施例13のマグネシウム合金においても長周期積層構造の結晶組織が形成される(図示せず)。これに対し、図1、図6及び図7に示すように、比較例1～10及び参考例それぞれのマグネシウム合金は長周期積層構造の結晶組織が形成されていない。

【0083】

実施例1～12及び比較例1～10それぞれの結晶組織から以下のことが確認された。

Mg-Zn-RE3元系铸造合金では、REがY、Tb、Dy、Ho、Erの場合に長周期積層構造が形成されるのに対し、REがLa、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Ybの場合は長周期積層構造が形成されない。Gdは、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Ybと少し挙動が異なっており、Gdの単独添加(Znは必須)では長周期積層構造は形成されないが、長周期積層構造を形成する元素であるY、Tb、Dy、Ho、Erとの複合添加では2.5原子%でも長周期積層構造が形成される(実施例6、11参照)。

また、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tmは、Mg-Zn-RE(RE=Y、Tb、Dy、Ho、Er)に添加する場合には、1原子%以下なら、長周期積層構造の形成を妨げない。

【0084】

比較例1の铸造材の結晶粒径は10～30μm程度であり、比較例2の铸造材の結晶粒径は30～100μm程度であり、実施例1の铸造材の結晶粒径は20～60μmであり、いずれも粒界に多量の晶出物が観察された。また、比較例2の铸造材の結晶組織では粒内に微細な析出物が存在していた。

【0085】

(铸造材のビッカース硬度試験)

実施例1、比較例1及び比較例2それぞれの铸造材をビッカース硬度試験により評価した。比較例1の铸造材のビッカース硬度は75HVであり、比較例2の铸造材のビッカース硬度は69HVであり、実施例1の铸造材のビッカース硬度は79HVであった。

【0086】

(ECAE加工)

上記の実施例1及び比較例1、2それぞれの铸造材に400°CでECAE加工を施した。ECAE加工法は、試料に均一なひずみを導入するためにパス毎に試料長手方向を90度ずつ回転させる方法を用いて、パス回数を4回及び8回で行った。この際の加工速度は2mm/秒の一定である。

【0087】

(ECAE加工材のピッカース硬度試験)

ECAE加工を施した試料をピッカース硬度試験により評価した。4回のECAE加工後の試料のピッカース硬度は、比較例1の試料が82 Hv、比較例2の試料が76 Hv、実施例1の試料が96 Hvであり、ECAE加工前の鋳造材と比較して10～20%の硬さの向上が見られた。8回のECAE加工をした試料では、4回のECAE加工をした試料とほとんど硬さに変化はなかった。

【0088】

(ECAE加工材の結晶組織)

ECAE加工を施した試料の組織観察をSEM、XRDによって行った。比較例1、2の加工材では粒界に存在していた晶出物が数 μm オーダーに分断され、微細に均一分散しているのに対し、実施例1の加工材では晶出物は微細に分断されることなく、マトリックスと整合性を保ったまま剪断を受けているのが確認された。8回のECAE加工をした試料では、4回のECAE加工をした試料とほとんど組織に変化はなかった。

【0089】

(ECAE加工材の引張試験)

ECAE加工を施した試料を引張試験により評価した。引張試験は、押出し方向に対して平行に所期ひずみ速度 5×10^{-4} /秒の条件で行った。4回のECAE加工をした試料の引張特性については、比較例1、2の試料では200 MPa以下の降伏応力と2～3%の伸びしか示さないのに対し、実施例1の試料では260 MPaの降伏応力と15%の伸びを示した。これは、鋳造材の特性が0.2%耐力100 MPa、伸び4%であるのを遥かに凌駕する特性であった。

【0090】

(ECAE加工材の熱処理)

4回のECAE加工を施した試料を225°Cで等温保持し、保持時間と硬度変化の関係を調査した。実施例1の試料では、225°Cの熱処理を施すことで硬さがさらに向上し、引張試験による降伏応力は300 MPaまで向上できることがわかった。

【0091】

また、実施例1の鋳造材を375°CまでECAEの加工温度下げると（即ち実施例1の鋳造材を400°Cではなく375°Cで4回のECAE加工を施すと）、実施例1のECAE加工材の降伏応力は300 MPaと12%の伸びを示した。そして、このECAE加工を施した試料に225°Cの熱処理を施すことにより、引張試験による降伏応力は320 MPaまで向上できることが確認された。

【0092】

(実施例13の鋳造合金の押出し)

実施例13の鋳造合金は、長周期積層構造を持つ96原子%Mg-1原子%Zn-3原子%Yの3元系マグネシウム合金である。この鋳造合金を、温度が300°C、断面減少率が90%、押出し速度2.5 mm/秒の条件で押出し加工した。この押出し後のマグネシウム合金は、室温において420 MPaの引張降伏強度と2%の伸びを示した。

【0093】

尚、本発明は上述した実施の形態及び実施例に限定されるものではなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0094】

【図1】実施例1、比較例1及び比較例2それぞれの鋳造材の結晶組織を示す写真である。

【図2】実施例2～4それぞれの鋳造材の結晶組織を示す写真である。

【図3】実施例5～7それぞれの鋳造材の結晶組織を示す写真である。

【図4】実施例8及び9それぞれの鋳造材の結晶組織を示す写真である。

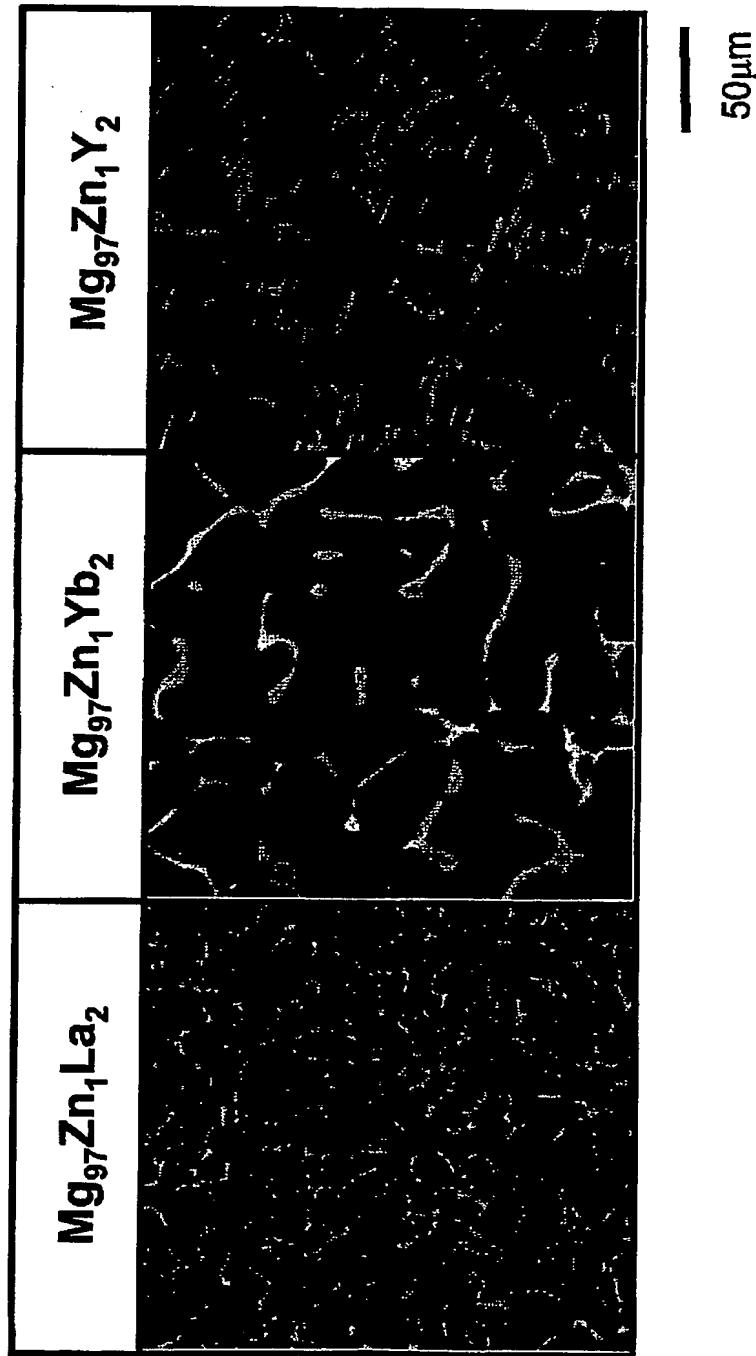
【図5】実施例10～12それぞれの鋳造材の結晶組織を示す写真である。

【図6】比較例3～10それぞれの鋳造材の結晶組織を示す写真である。

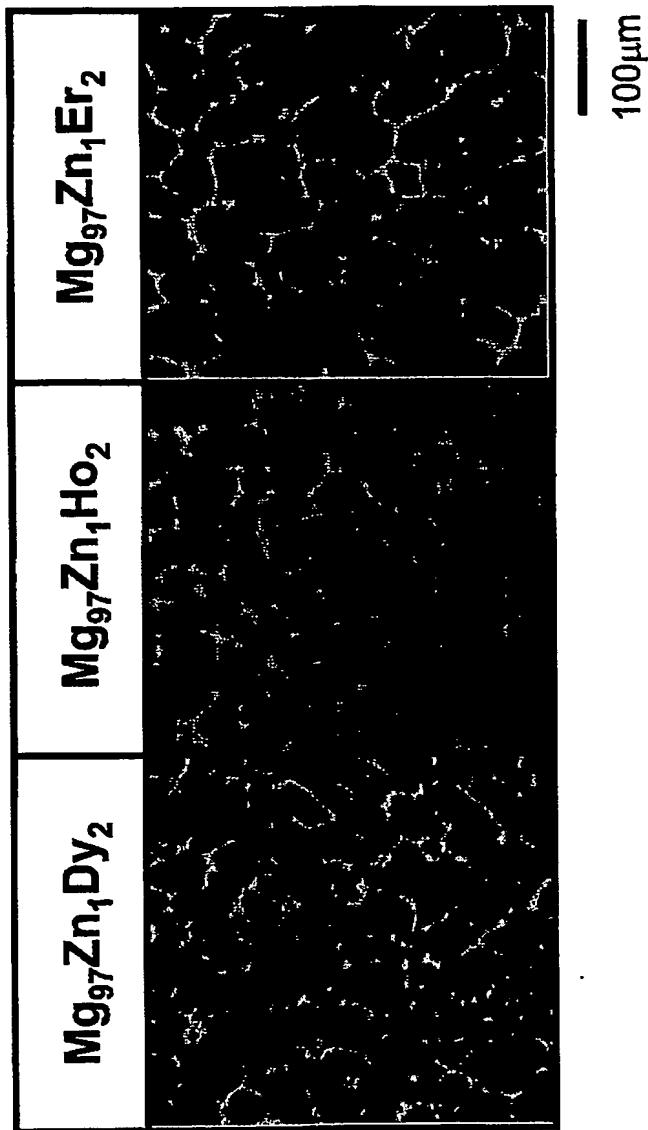
【図7】参考例の鋳造材の結晶組織を示す写真である。

【書類名】 図面
【図 1】

Mg₉₇Zn₁RE₂ (La, Yb, Y)

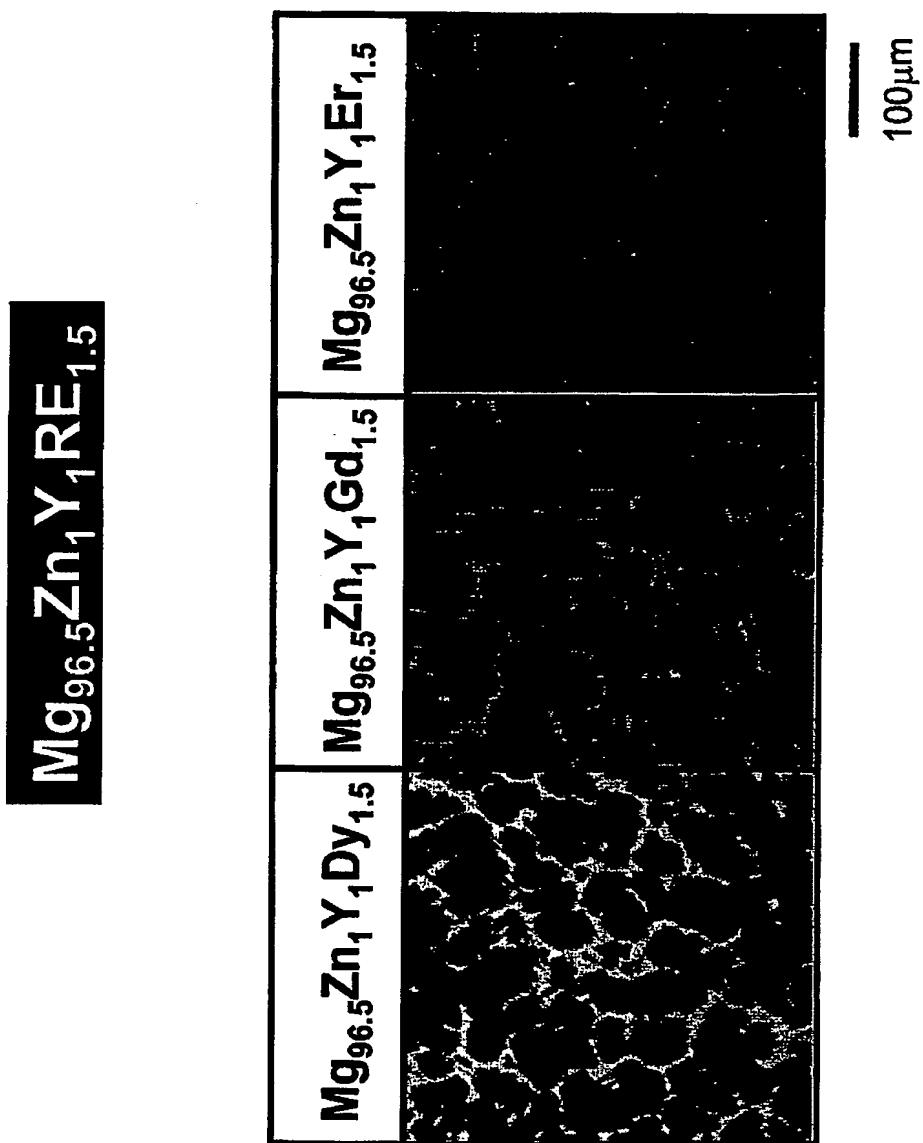


【図2】

Mg₉₇Zn₁RE₂ (LPSO 有り)

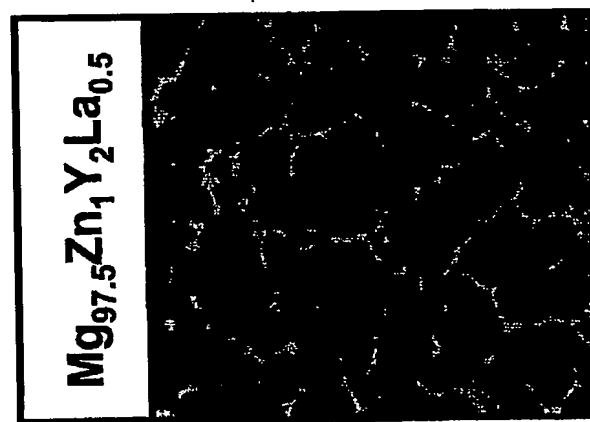
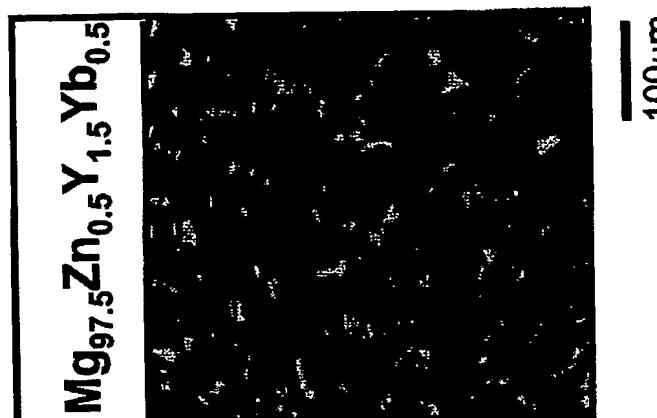
100μm

【図3】



【図4】

Mg-Zn-Y-RE(La, Yb)

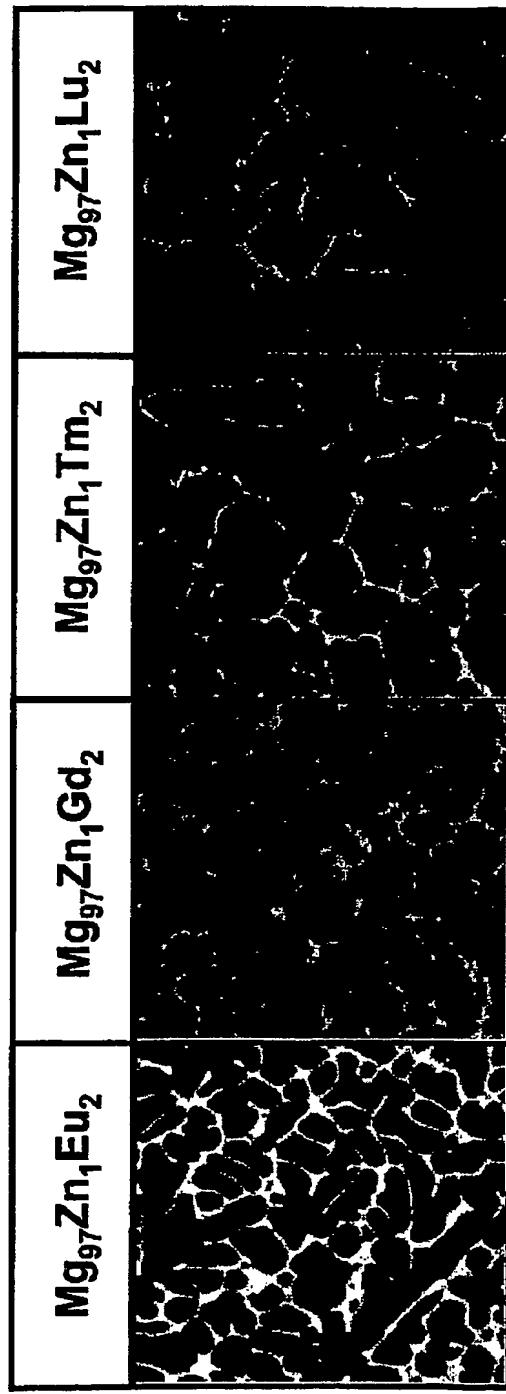
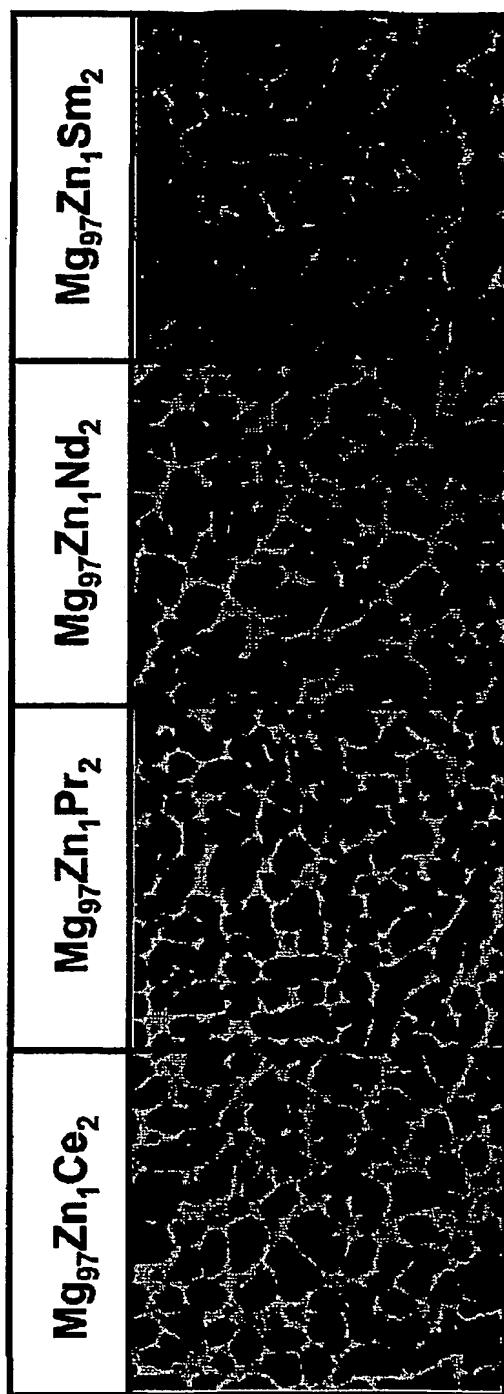


【図5】



【図6】

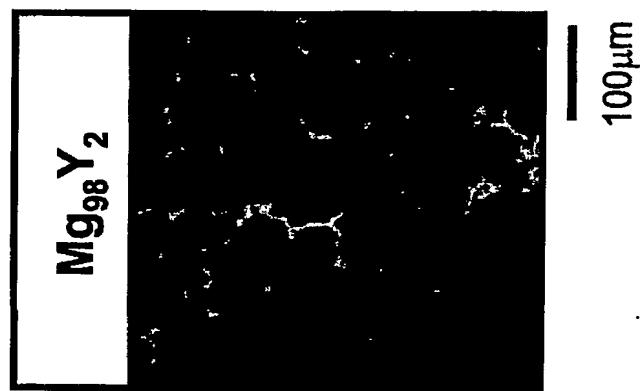
Mg₉₇Zn₁RE₂ (LPSO 無し)



—
100μm

【図 7】

参考
(Mg-Y 2元系)



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び韌性ともに実用に供するレベルにある高強度高韌性マグネシウム合金及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明に係る高強度高韌性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るものである。

【選択図】 なし

特願 2003-395905

出願人履歴情報

識別番号 [502396281]

1. 変更年月日 2002年10月31日

[変更理由] 新規登録

住所 熊本県熊本市新南部2丁目7番A-302
氏名 河村 能人

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP04/017617

International filing date: 26 November 2004 (26.11.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2003-395905
Filing date: 26 November 2003 (26.11.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 27 January 2005 (27.01.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- EASED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.